

PERANCANGAN GENERATOR MAGNET PERMANEN FLUX AXIAL TIGA FASA



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

RAHAJENG HAFIDZ BASTIAN

D 400 130 068

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PERANCANGAN GENERATOR MAGNET PERMANEN
FLUX AXIAL TIGA FASA**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

RAHAJENG HAFIDZ BASTIAN

D 400 130 068

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Agus Supardi, S.T., M.T.

NIK.887

HALAMAN PENGESAHAN

**PERANCANGAN GENERATOR MAGNET PERMANEN
FLUX AXIAL TIGA FASA**

OLEH

Rahajeng Hafidz Bastian

D 400 130 068

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 6 Mei 2017
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Agus Supardi, S.T., M.T.

(Ketua Dewan Penguji)

(.....)

2. Ir. Jatmiko, M.T.

(Anggota I Dewan Penguji)

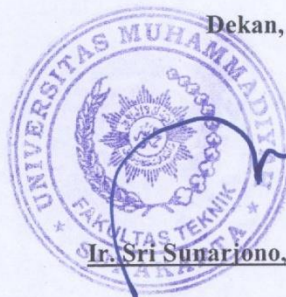
(.....)

3. Aris Budiman, S.T., M.T.

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, S.T. PhD.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidak benaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, ~~Salatiga~~ 6 Mei 2017

Penulis,

Rahajeng Hafidz Bastian

0 400 130 068

PERANCANGAN GENERATOR MAGNET PERMANEN FLUX AXIAL TIGA FASA

Abstrak

Listrik tidak dapat dipisahkan dari manusia. Ketergantungan terhadap listrik hampir meliputi setiap kebutuhan manusia. Pembangunan pembangkit listrik sangat dibutuhkan untuk memenuhi permintaan akan energi listrik. Generator adalah bagian penting dalam sistem pembangkit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang generator magnet permanen dengan tipe flux axial tiga fasa. Desain rotor dan stator mempertimbangkan jumlah magnet permanen dan jumlah lilitan. Keluaran generator dihubungkan ke transformator supaya tegangan keluaran sama ataupun mendekati rating PLN. Pengujian dilakukan dalam kondisi berbeban dan tidak berbeban. Pengujian tanpa beban dilakukan dengan memvariasi kecepatan generator dari 50 RPM sampai 450 RPM. Setiap kenaikan kecepatan putar generator sebesar 3 (tiga) kali lipat maka kenaikan tegangan keluarannya juga sebesar 3 (tiga) kali lipat. Keluaran tegangan line to line pada sisi tegangan tinggi transformator sebesar 29.7 volt pada kecepatan 50 RPM dan 308 volt pada kecepatan 450 RPM. Pengujian berbeban menggunakan variasi daya lampu LED dan lampu pijar. Kenaikan daya lampu mengakibatkan turunnya tegangan dan naiknya arus. Lampu LED divariasi dari 2 watt sampai 9 watt per fasa dan lampu pijar 10 watt sampai 40 watt per fasa. Nilai tegangan terkecil dan arus terbesar ditunjukkan pada lampu LED 9 watt dan lampu pijar 40 watt. Lampu LED menunjukkan nilai 165 volt line to line dan 0.0348 ampere pada transformator sisi tegangan tinggi. Lampu pijar menunjukkan nilai 9.5 volt line to line dan 0.0296 ampere pada transformator sisi tegangan tinggi.

Kata Kunci: *Generator, Flux Axial, Tiga Fasa, Tegangan.*

Abstract

Electricity can't be separated from humans. Dependence on electricity almost covers every human needs. The Power plant construction is needed to meet the demand for electrical energy. Generators are an important part of generating systems. The purpose of this study is to design a permanent magnet generator with three phase axial flux type. Rotor and stator design considering into account a number of permanent magnets and a number of turn winding. The output of generator is connected to the transformer, so the output voltage is same or near to PLN's rating. This research have two types of test, its on-load test and unloaded testing. Unloaded test with variation speed of generator from 50 to 450 RPM. If generator rotary speed was increase three times, so output generator will increase three times too. Output of line to line voltage on high voltage side transformer is 29.7 volt at 50 RPM and 308 volt at 450 RPM. On load test use LED lamp power variation and incandescent lamp power variation. Increasing power of lamps will decrease the voltage and increase the current. LED lamp variation from 2 watt per phasa to 9 watt per phasa and incandescent lamp variation from 10 watt per phase to 40 watt per phase. The smallest voltage values and the largest current are shown on 9 watt LED lamp and 40 watt incandescent lamp. Led lamp showing 165 volt line to line and 0.0348 amperes on high voltage transformer. Incandescent lamp showing 9.5 volt line to line and 0.0296 amperes on high voltage transformer.

Keywords: *Generators, Axial Flux, Three Phase, Voltage.*

1.1.PENDAHULUAN

Di era modern ini listrik sudah menjadi kebutuhan pokok manusia. Listrik sudah masuk ke berbagai bidang kehidupan sehari-hari. Mulai dari hal sederhana hingga hal yang rumit seperti memasak, mencuci, mencukur rambut, hingga menyangkut bidang kedokteran. Tidak terbayang besarnya kebutuhan energi listrik untuk mencukupi kebutuhan tersebut.

Saat ini pemerintah sedang membangun mega proyek 35 ribu mega watt yang ditargetkan akan selesai pada tahun 2019 mendatang. Pembangunan pembangkit dikerjakan oleh beberapa perusahaan seperti PT. PLN sebagai perusahaan listrik negara dan juga IPP (*Independent Power Producer*) sebagai perusahaan swasta. Total pembangkit yang akan dibangun berjumlah 109 pembangkit. Hal terpenting dalam pembangunan pembangkit salah satunya adalah pemilihan dari jenis generatornya.

Generator listrik adalah sebuah mesin listrik yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja dari generator sendiri menggunakan prinsip percobaan Faraday. Percobaan Faraday dilakukan dengan memutar magnet dalam penampang kawat atau dilakukan secara sebaliknya. Hukum Faraday berbunyi perubahan medan magnet yang memotong suatu penampang kawat terjadi perubahan jumlah garis gaya magnetik (perubahan penyebaran arah medan magnet). Perubahan jumlah garis gaya magnetik menimbulkan beda potensial atau disebut juga beda tegangan pada ujung penampang kawat. Tegangan induksi generator dapat diketahui dengan persamaan :

$$E_{rms} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{n_s}{n_{ph}} \quad (1)$$

dimana:

E_{rms} : Tegangan efektif induksi generator (V)

N : jumlah lilitan

f : frekuensi (Hz)

Φ_{max} : fluks magnet (Wb)

n_s : jumlah kumparan

n_{ph} : jumlah fasa

Frekuensi dapat diketahui dengan persamaan :

$$f = \frac{N \times p}{120} \quad (2)$$

dimana:

f : frekuensi (Hz)

N_s : Kecepatan putar medan magnet stator (RPM)

p : Jumlah kutub magnet

Kuat medan magnet merupakan salah satu dari beberapa hal yang mempengaruhi tegangan keluaran dari generator. Medan magnet dikonsentrasikan di rumah stator yang terdapat susunan kumparan agar tegangan induksi lebih baik (Krishna & Asharay 2013). Besar tegangan induksi generator juga sangat dipengaruhi oleh jarak magnet ke kumparan (Marius et al, 1999).

Sumber medan magnet untuk generator didapatkan dari magnet tetap atau magnet sementara. Magnet sementara berupa kumparan yang diberikan arus listrik, proses pembangkitan medan magnet tersebut yang disebut proses eksitasi. Magnet tetap berasal dari bahan logam. Menurut LIPI, logam yang digunakan adalah pasir besi (ferrite) dan tanah jarang.

Magnet neodymium dipilih karena kekuatan medan magnet yang cukup tinggi dari yang lainnya (Rovio et al, 2001). Kuat medan magnet dari magnet neodymium lebih baik jika dibandingkan dengan magnet lain, seperti *Samarium Cobalt* dan *Alnico*. Magnet neodymium memiliki kuat medan yang lebih besar pada dimensi dan volume yang sama (Irasari & Idayanti, 2007).

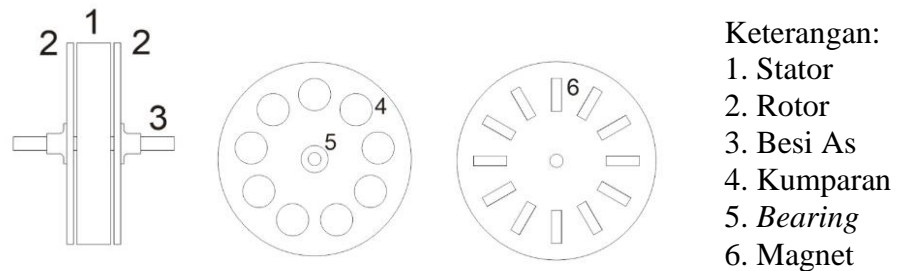
Penelitian yang dilakukan berupa perancangan sebuah generator tiga fasa dengan tipe flux axial. Generator dirancang dengan 2 (dua) buah rotor. Magnet permanen sebanyak 12 kutub ditanamkan pada setiap rotor. Desain stator menggunakan 3 (tiga) buah kumparan pada setiap fasa. Penelitian ini dilaksanakan di ruang laboratorium teknik elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta. Hasil dari pengujian ini berupa tegangan dan arus keluaran dari generator. Penulis sangat mengharapkan dilakukannya penelitian lanjutan guna memperoleh hasil keluaran generator yang lebih besar dan lebih baik.

2.2.METODE

2.1 Perancangan Alat

Sebelum melakukan pembuatan sebuah generator ada beberapa hal yang musti diperhatikan, yaitu memilih jenis generator yang ingin digunakan, desain dari generator, dan juga biaya pembuatan (Nick et al, 2013). Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan banyak hal. Pencarian referensi pada jurnal internasional, dan juga penelitian dari senior di Universitas Muhammadiyah Surakarta, serta diskusi dengan dosen pembimbing. Generator ini menggunakan 3 (tiga) buah kumparan pada setiap fasa. Setiap kumparan berisi 2500 buah lilitan dengan diameter kawat 0.5 mm. Banyak variasi dalam desain dasar dari rotor generator flux axial, diantaranya rotor satu sisi, rotor dua sisi, rotor torus, dan desain rotor multi-disk (Price et al, 2008). Penulis menggunakan rotor dua

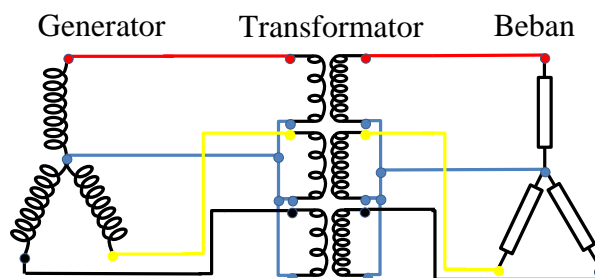
sisi dikarenakan kemudahan dalam pembuatan dari desain rotor torus dan multi-disk serta keluaran yang lebih baik dari rotor satu sisi. Magnet yang digunakan adalah magnet neodymium berukuran 50x15x6 mm. Rangka penyusun generator baik di rotor maupun stator menggunakan bahan acrylic. Proses desain rangka acrylic menggunakan software autocad 2014.



Gambar 1 Perancangan Alat

2.2 Pengukuran dan pengumpulan data

Pengukuran dan pengumpulan data dilakukan di laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta, generator digerakkan menggunakan motor. Hal ini dilakukan hanya untuk proses uji coba untuk mengetahui keluaran dari tegangan dan arus dari generator. Percobaan dilakukan dengan berbagai macam variasi kecepatan putar dan juga beban. Tegangan yang diukur berupa tegangan antar fasa dan tegangan fasa-netral. Arus yang diukur adalah arus saluran. Sebelum dihubungkan ke beban, keluaran dari generator dihubungkan ke transformator agar tegangan sama atau mendekati 220 volt.

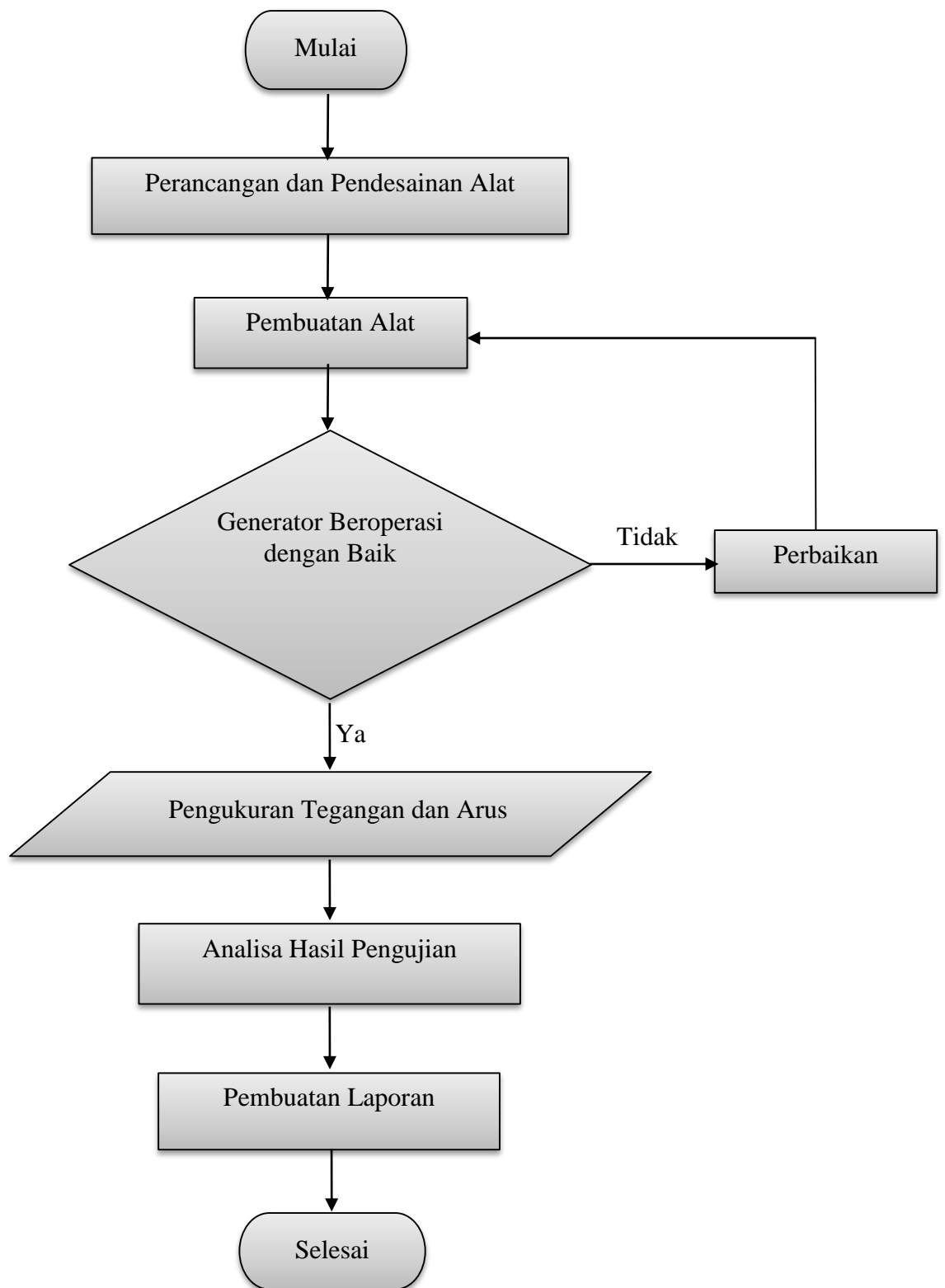


Gambar 2 Rangkaian Percobaan

2.3 Pelaporan Hasil

Laporan penelitian berupa tabel dan analisa. Tabel berupa hasil-hasil dari setiap percobaan Grafik tegangan dan arus akan ditampilkan untuk memudahkan pembaca dapat mudah memahami data-data pengujian tersebut. Hasil table, grafik dan analisa akan ditarik kesimpulan yang memberikan intisari dari hasil eksperimen dan pernyataan mengenai hubungan hasil pengujian dengan hipotesis.

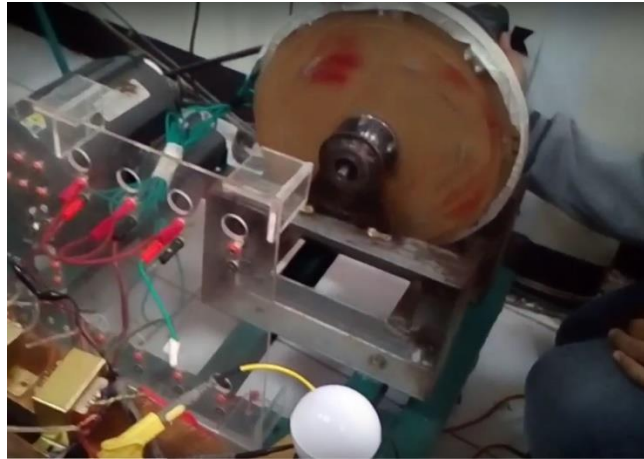
2.4 Flowchart



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

3.3.HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta menggunakan penggerak mula sebuah motor induksi 1 fasa. Kecepatan putar motor induksi diatur menggunakan *voltage regulator*, sehingga data yang didapat lebih bervariasi.



Gambar 4 Generator Flux Axial Tiga Fasa

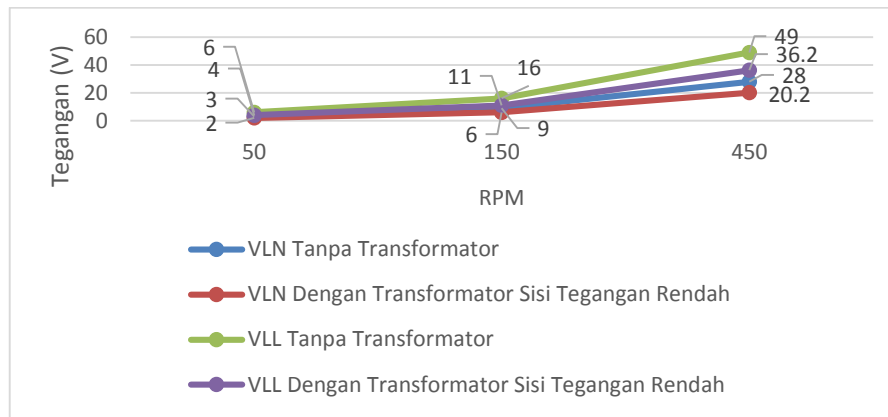
Percobaan dilakukan dengan 2 (dua) model pengujian. Percobaan pertama dilakukan dengan pengujian generator tanpa beban dengan mengubah nilai dari kecepatan putar generator. Percobaan kedua dilakukan dengan pengujian pemberian beban berupa lampu pada kecepatan putar generator yang tetap.

3.1 Percobaan Tanpa Beban

Pengujian tanpa beban menganalisa keluaran tegangan tanpa diberi transformator dan keluaran tegangan dengan menggunakan transformator pada sisi tegangan rendah dan sisi tegangan tinggi. Tegangan yang diukur adalah tegangan *line to line* dan tegangan *line to neutral*. Pengambilan data dilakukan dengan mengubah kecepatan putar dari generator, mulai dari 50-450 RPM dengan kenaikan kecepatan sebesar 3 kali lipat. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1 Hasil Pengujian Tanpa Beban

Kecepatan Putar (RPM)	Tanpa Transformator		Dengan Transformator			
			Sisi Tegangan Rendah		Sisi Tegangan Tinggi	
	V_{LN} (V)	V_{LL} (V)	V_{LN} (V)	V_{LL} (V)	V_{LN} (V)	V_{LL} (V)
50	3	6	2	4	17.9	29.7
150	9	16	6	11	62	111.9
450	28	49	20.2	36.2	179.4	308



Gambar 4 Hasil Pengujian Tanpa Beban dengan Pengubahan Kecepatan Putar

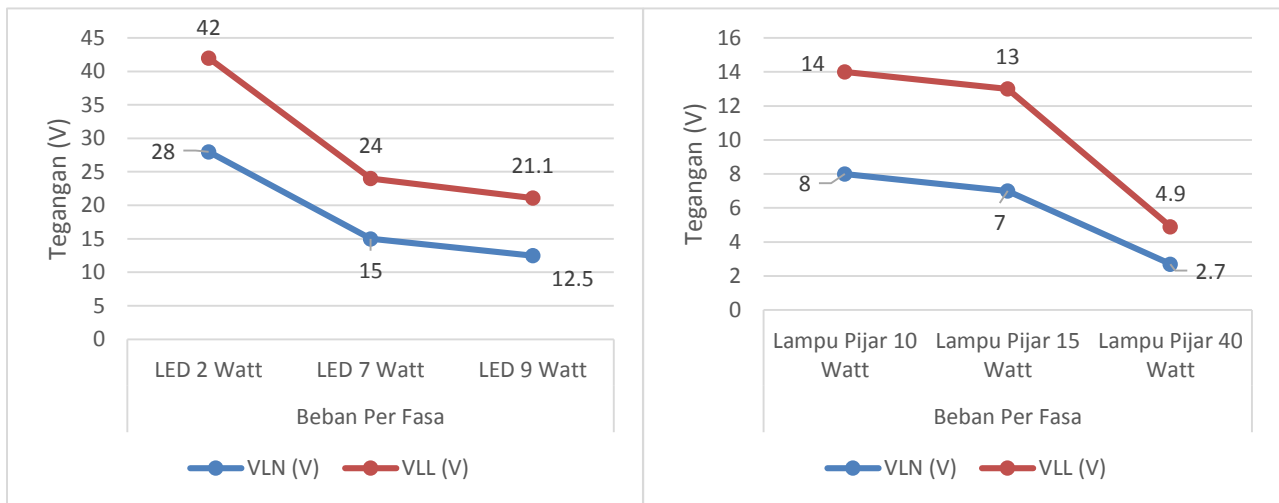
Tabel 1 dan grafik pada gambar 4 diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran generator akan semakin besar tegangan keluaran dari generator. Kenaikan tegangan tersebut sesuai dengan teori yang disampaikan pada bagian pendahuluan, bahwa yang mempengaruhi keluaran generator salah satunya adalah kecepatan putar generator. Hasil tersebut juga menunjukkan setiap kenaikan 3 (tiga) kali lipat putaran generator, kenaikan dari tegangan juga 3 (tiga) kali lipat dari sebelumnya. Data tersebut juga menunjukkan bahwa transformator juga berperan sebagai beban yang menyebabkan turunnya tegangan. Tegangan terendah terdapat pada kecepatan 50 RPM pada setiap posisi pengukuran. Tegangan tertinggi terdapat pada kecepatan 450 RPM pada setiap posisi pengukuran.

3.2 Percobaan Berbeban

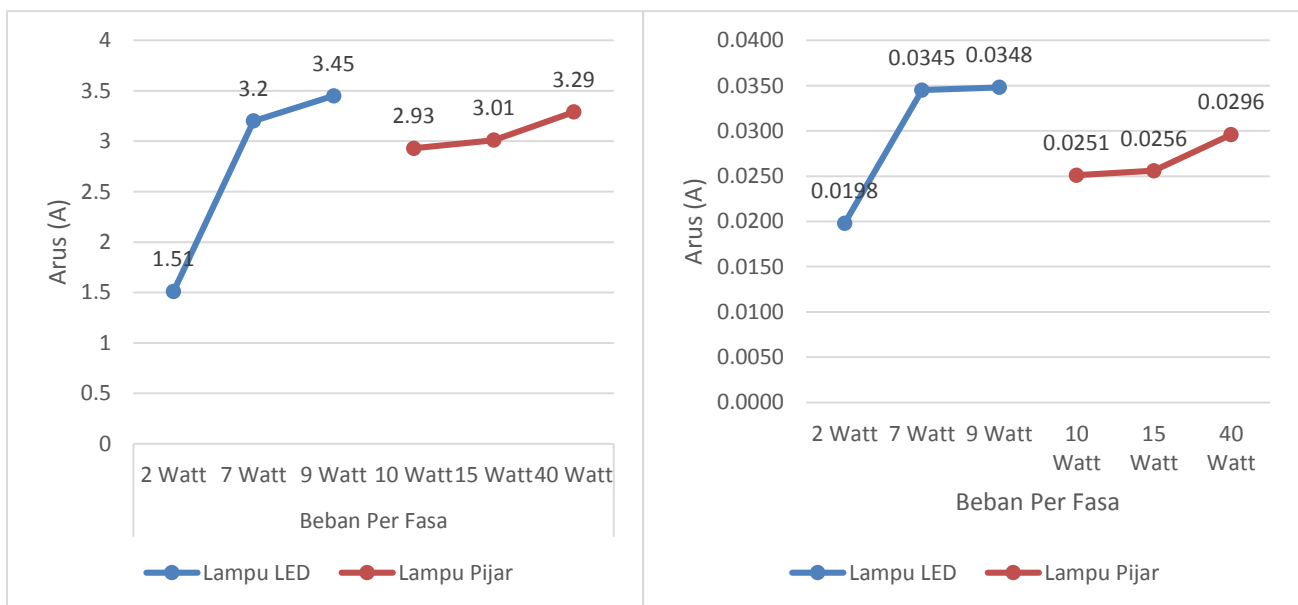
Pengujian kedua dilakukan dengan pemberian beban berupa lampu dengan daya pada *name plate* berbeda. Kecepatan putar generator diusahakan dibuat sama pada setiap pergantian beban agar hasil yang dicapai relatif pada keadaan yang sama. Pengamatan dilakukan pada arus dan tegangan pada sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah transformator. Dari beberapa percobaan didapat data sebagai berikut :

Tabel 2 Hasil Pengujian Berbeban

Beban Per Fasa	Kecepatan Putar (RPM)	Sisi Tegangan Rendah			Sisi Tegangan Tinggi		
		V _{LN} (V)	V _{LL} (V)	I (A)	V _{LN} (V)	V _{LL} (V)	I (A)
LED 2 Watt	460	28	42	1,51	261	347	0,0198
LED 7 Watt	460	15	24	3,20	110	200	0,0345
LED 9 Watt	460	12.5	21.1	3,45	102	165	0,0348
Lampu Pijar 10 Watt	460	8	14	2,93	50	60	0,0251
Lampu Pijar 15 Watt	460	7	13	3.01	49	59	0.0256
Lampu Pijar 40 Watt	460	2.7	4.9	3,29	4.2	9.5	0,0296



Gambar 5 Grafik Pembebanan Terhadap Tegangan



Gambar 6 Grafik Pembebanan Terhadap Arus

Dari tabel 2 dan grafik pada gambar 5 diatas dapat diketahui bahwa semakin besar nilai konsumsi daya dari sebuah beban, tegangan akan relatif menurun. Lampu LED menunjukkan nilai tegangan terendah pada daya 9 watt sebesar 12.5 volt di tegangan *line to neutral* dan 21.1 volt di tegangan *line to line* pada sisi tegangan rendah transformator. Sisi tegangan tinggi transformator menunjukkan nilai tegangan terendah sebesar 102 volt di tegangan *line to neutral* dan 165 volt di tegangan *line to line*. Lampu pijar menunjukkan nilai tegangan yang relatif sangat rendah pada daya 40 watt, dengan nilai tegangan 2.7 volt di tegangan *line to neutral* dan 4.9 volt di tegangan *line to line*. Penurunan nilai tegangan seperti yang tertera pada data diatas diakibatkan karena beban terpasang melebihi kapasitas dari generator.

Grafik pada gambar 6 dan tabel 2 menunjukkan perubahan arus yang relatif naik. Nilai arus terbesar terdapat pada lampu dengan daya 9 watt untuk jenis lampu LED dan daya 40 watt untuk jenis lampu pijar. Sisi tegangan rendah transformator menunjukkan nilai arus sebesar 3.45 ampere pada lampu LED 9 watt dan 3.29 ampere pada lampu pijar 40 watt. Sisi tegangan tinggi menunjukkan nilai arus sebesar 0.0348 ampere pada 9 watt dan 0.0296 ampere pada lampu pijar 40 watt. Kenaikan arus dikarenakan usaha generator untuk mensuplai arus sesuai kebutuhan dari beban dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = V.I.\cos\theta \quad (3)$$

Generator bertipe axial atau tipe radial, saat generator dalam kondisi bekerja lalu dilakukan pembebanan umumnya kecepatan putar dari generator akan berkurang. Pengurangan kecepatan putar ini juga dapat menyebabkan penurunan beberapa parameter, seperti tegangan dan frekuensi. Penurunan kecepatan putar disebabkan adanya arus balik menuju stator generator, arus tersebut menyebabkan timbulnya medan magnet di stator yang berlawanan arah dengan medan magnet pada rotor generator. Perbedaan arah medan magnet tersebut akan menahan putaran dari rotor generator. Penelitian kali ini menghindari penurunan dari kecepatan putar generator dengan cara mengatur tegangan yang masuk ke motor penggerak generator. Kecepatan putar diatur sedemikian rupa agar kecepatan putar stabil pada rating yang diinginkan.

4.4.PENUTUP

Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa :

1. Setiap kenaikan kecepatan putar generator sebesar 3 (tiga) kali lipat, kenaikan tegangan keluaran juga sebesar 3 (tiga) kali lipat. Keluaran tegangan *line to line* pada sisi tegangan tinggi transformator sebesar 29.7 volt pada kecepatan 50 RPM dan 308 volt pada kecepatan 450 RPM.
2. Semakin besar nilai konsumsi daya dari sebuah beban, tegangan akan relatif menurun. Nilai terkecil ditunjukkan pada lampu LED 9 watt dan lampu pijar 40 watt. Lampu LED menunjukkan nilai 165 volt *line to line* dan lampu pijar menunjukan nilai 9.5 volt *line to line* pada transformator sisi tegangan tinggi.
3. Semakin besar nilai konsumsi daya dari sebuah beban, perubahan arus yang relatif naik. Nilai arus terbesar ditunjukkan pada lampu LED 9 watt dan lampu pijar 40 watt. Lampu LED menunjukkan nilai 0.0348 ampere dan lampu pijar menunjukkan nilai 0.0296 ampere pada transformator sisi tegangan tinggi.

PERSANTUNAN

Proses pembuatan tugas akhir ini penulis tidak sedikit menemukan beberapa hambatan. Dalam penyelesaian hambatan banyak sekali pihak yang mendukung dan membantu baik dari saran, masukan, dan juga kontribusi tenaga. Kesempatan kali ini penulis mengucapkan banyak-banyak terimakasih kepada :

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena atas limpahan karunia dan nikmat-Nya lah penulis dapat memulai dan menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan lancar dan dipermudah. Alhamdulillah.
2. Rasulullah Muhammad Sallallahu Alaihi Wasallam, karena syafaat dan doanya untuk umat Islam yang dipimpinnya, penulis mengetahui apa yang halal dan haram menurut Allah Subhanahu Wa Ta'ala dalam mengerjakan tugas akhir ini.
3. Ibu dan bapak tercinta, yang selalu memberikan semua dukungan dan kebutuhan penulis sejak lahir sampai saat ini. Ucapan terimakasih putramu tak akan pernah mampu untuk membalas semua kasih sayang kalian.
4. Adik-adikku tersayang, atas waktu dan doanya, serta bantuan-bantuan lainnya.
5. Bapak Umar, S.T. M.T. sebagai ketua jurusan Teknik Elektro
6. Bapak Agus Supardi, S.T., M.T. sebagai pembimbing yang telah memberikan semangat, ilmu, dan nasihat hingga selesainya tugas akhir ini.
7. Dosen Teknik Elektro karena ikut memberikan masukan dan informasi yang membantu.
8. Teman satu bimbingan Bapak Agus, Ana, Ulul, Sanusi, Okta atas dukungannya.
9. Qoid, Ridho, Riki, Guruh, Toni dan teman-teman lain yang telah membantuk memperbaiki alat yang penulis kerjakan.
10. Teman seperjuangan tugas akhir yang telah saling mengingatkan satu sama lain.
11. Teman-teman mahasiswa Teknik Elektro yang telah memberikan dorongan dan semangat dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bannon, Nick, J. Davis and E. Clement. (2013). *Axial Flux Permanent Generator*. Mechanical Engineering. University of Washington. USA.
- Irasari, P., & Novrita, I. (2009). *Aplikasi Magnet Permanen BaFe₁₂O₁₉ dan NdFeB Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil*. Jurnal Sains Materi Indonesia 11(1), 38–41.

- Price, Garrison F., Todd D. Batzel, Mihai Comanescu, and Bruce A. Muller. (2008). *Design and Testing of a Permanent Magnet Axial Flux Wind Power Generator*. Pennsylvania State University, Altoona College. USA.
- Rao, Krishna Manasa, and Ashray Gururaja Manur. (2013). *Design Optimization of Linear Generator for a Hydrokinetic Energy Converter*. Department of Electrical and Electronics Engineering. Sri Jayachamarajendra College of Engineering. 6(1): 37–40.
- Rosu, Marius, Antero Arkkio, Tampani Jokinen, J. Mantere, and J. Westerlund. (1999). *Prediction of airgap magnetic field distribution in large output power permanent magnet synchronous motor*. Electromotion '99. - 3rd International Symposium on Advanced. 1,179-184.
- Rovio, T., H. Vihriälä, L. Söderlund, J. Kriikka. (2001). *Axial And Radial Flux Generators In Small-Scale Wind Power Production*. Institute of Electromagnetics. Tampere University of Technology. Finland.